

# 泥沙测验取样垂线代表性分析

## ——以赣江下游樟树水文站为例

刘卫根<sup>1,2</sup>, 黄敏<sup>1</sup>, 张华<sup>1</sup>, 杨超<sup>1</sup>, 黄孝明<sup>2,3</sup>, 刘永红<sup>1,2</sup>, 杨莹<sup>1</sup>, 龙斌<sup>1</sup>, 鄢景雄<sup>1</sup>

<sup>1</sup>赣江下游水文水资源监测中心, 江西 宜春

<sup>2</sup>鄱阳湖流域生态水文监测研究江西省重点实验室, 江西 南昌

<sup>3</sup>江西省水文监测中心, 江西 南昌

收稿日期: 2025年5月12日; 录用日期: 2025年6月23日; 发布日期: 2025年8月26日

### 摘要

全自动泥沙在线监测系统的测量原理是根据单点泥沙-断沙率定关系计算出断面平均含沙量, 设备需安装在测验断面具有代表性的垂线上。为优化泥沙在线监测设备安装条件, 选择较理想的安装位置, 提升设备的适用性, 本文从主槽垂线含沙量、断面平均含沙量值在断面上的分布范围、各垂线平均含沙量与断面平均含沙量的相关关系等方面对樟树水文站泥沙垂线的代表性进行了分析, 优选出泥沙在线监测设备最适宜的安装垂线位置, 为泥沙在线监测设备选址安装提供理论依据。

### 关键词

赣江下游, 樟树水文站, 单样含沙量, 垂线代表性分析, 泥沙在线监测

# Analysis of the Representativeness of Sampling Vertical Lines in Sediment Measurement

## —Taking Zhangshu Hydrological Station in the Lower Reaches of the Ganjiang River for Example

Weigen Liu<sup>1,2</sup>, Min Huang<sup>1</sup>, Hua Zhang<sup>1</sup>, Chao Yang<sup>1</sup>, Xiaoming Huang<sup>2,3</sup>, Yonghong Liu<sup>1,2</sup>, Ying Yang<sup>1</sup>, Bin Long<sup>1</sup>, Jingxiong Yan<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Hydrology and Water Resources Monitoring Center of Lower Reaches of Ganjiang River, Yichun Jiangxi

<sup>2</sup>Jiangxi Provincial Key Laboratory of Ecohydrological Monitoring Research in Poyang Lake Basin, Nanchang Jiangxi

<sup>3</sup>Jiangxi Hydrology Monitoring Center, Nanchang Jiangxi

Received: May 12<sup>th</sup>, 2025; accepted: Jun. 23<sup>rd</sup>, 2025; published: Aug. 26<sup>th</sup>, 2025

作者简介: 刘卫根(1987.02-), 硕士研究生, 工程师, 主要从事水文测验和资料整编工作, Email: 443104100@qq.com

文章引用: 刘卫根, 黄敏, 张华, 杨超, 黄孝明, 刘永红, 杨莹, 龙斌, 鄢景雄. 泥沙测验取样垂线代表性分析[J]. 水资源研究, 2025, 14(4): 434-440. DOI: 10.12677/jwrr.2025.144047

## Abstract

The measurement principle of the fully automatic sediment online monitoring system is to calculate the average sediment concentration of the cross-section based on the single-point sediment-discharge relationship. The equipment needs to be installed on a representative vertical line within the measurement cross-section. In order to optimize the installation conditions of sediment online monitoring equipment, select more ideal installation locations, and enhance the applicability of the equipment, in this paper, the representativeness of the sediment vertical lines at Zhangshu Hydrological Station was studied based on statistical analysis of the sediment content of the main channel, the distribution range of the cross-sectional average sediment concentration on the cross-section and the correlation between the average sediment concentration of each vertical line and the cross-sectional average sediment concentration. The optimal vertical line for the installation of the sediment online monitoring equipment was selected, which could provide a theoretical basis for the site selection and installation of the sediment online monitoring equipment.

## Keywords

The Lower Reaches of the Ganjiang River, Zhangshu Hydrological Station, Single Sample Sediment Concentration, Analysis of the Representativeness of Vertical Lines, Sediment Online Monitoring

Copyright © 2025 by author(s) and Wuhan University & Bureau of Hydrology, Changjiang Water Resources Commission. This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

河道的整治、堤防的修建、航道的治理、灌溉引水工程、河流上修建水库等都需要研究河流泥沙运动规律,泥沙测验在人类经济活动的许多方面有重要意义。输沙率测验需要布设较多的垂线,从水样采集、样品保存到最后的样品分析每一个步骤都非常繁琐和复杂,施测单沙以控制河流的含沙量随时间变化过程,以较精确的方法在全年施测一定数量的不同水情、沙情的断面输沙率,建立相应的单断沙关系,由单沙过程推求断沙过程可有效降低人力、物力成本,提高工作效率,而单沙测验的精度在很大程度上取决于所取样品的代表性。为提高悬移质泥沙的测验精度,从输沙率测验垂线中挑选代表性最好的单样含沙量测验垂线,王伟[1]和吴思东[2]分别对新疆伊犁河流域特克斯河卡甫其海水文站和广东珠江流域东江中下游蓝塘水文站相应单沙取样垂线代表性进行了分析,为新设站泥沙测验及水土保持项目的实施提供理论依据。李金宝等[3]对八里桥水文站输沙对比观测资料进行分析,确定了单样含沙量的取样位置,为及时抢测沙峰、提高断面平均含沙量及输沙率的测验精度提供依据。

随着水文监测新技术的不断应用,水文要素自动在线监测取得长远发展,以水文巡测、间测为主的测验方式是水文监测现代化的趋势,是提高水文监测能力的必经之路。在线监测设备安装位置的选择,关系到在线监测设备数据的代表性、准确性、可靠性,关系到设备的稳定性和可维护性。开展悬移质泥沙垂线代表性分析,是安装悬移质泥沙在线监测设备选址,探索其可行性和代表性的必要环节。

近年来,赣江下游樟树水文站采用走航式 ADCP 等部分流量法施测断面输沙率,每次布设 11 条输沙率采样垂线,并采用起点距 200 m 处断面输沙率施测开始和结束时 2 次单沙作为相应单沙,两者建立单断沙关系,为直线或折线,单断沙关系比例系数在 0.900~0.975 之间。为优化安装条件,提高垂线代表性和设备适用性,为泥

沙在线监测设备选址安装进行垂线代表性分析很有必要。

## 2. 基本概况

### 2.1. 流域概况

赣江是鄱阳湖水系的第一大河，也是长江八大支流之一。流域位于长江中下游南岸，在江西省内按行政区划分属 7 个市(赣州、吉安、南昌、宜春、新余、萍乡、抚州)47 个县(市、区)。江西省境内面积 80,196 km<sup>2</sup>，约占全省总面积的 48%。

赣江及其支流的泥沙主要来源于雨洪对表土的侵蚀。赣江流域除平江 20 世纪 80 年代以前水土流失较严重外，其他地方及平江 20 世纪 90 年代以后的植被均良好，水土流失不甚严重，因此，赣江属少沙河流。据赣江各测站泥沙资料统计分析，赣江的悬移质泥沙年际年内变化规律与径流基本一致，丰水丰沙，枯水少沙，泥沙主要集中在主汛期 4~6 月，该时期的输沙量占全年的 60%~70%。干流含沙量从上游往下游总体呈递减趋势，且与支流来沙量大小有关。

### 2.2. 测站概况

樟树水文站建于 1930 年 12 月，为赣江下游大河控制站，控制流域面积 71,324 km<sup>2</sup>。位于鄱阳湖区赣江下游，东经 115°32'，北纬 28°04'，地处江西省樟树市铁路桥上游 650 米，赣江的右岸，流量测验精度为一类站，悬移质泥沙测验精度为二类站。该站多年平均断面平均含沙量为 0.045 kg/m<sup>3</sup>；实测年最大断面平均含沙量 0.520 kg/m<sup>3</sup>，出现在 2022 年 6 月 16；多年断面平均年输沙量  $83.6 \times 10^4$  t；年最大输沙量为  $4570 \times 10^4$  t，出现在 2002 年。

2019 年樟树水文站上游约 24 km 新建成新干航电枢纽工程、2019 年 1 月樟树水文站下游约 34 km 龙头山水利航电枢纽成功合龙，2022 年樟树水文站下游约 11 km 左岸肖江入赣江口原泉港闸增建一处电排闸。受新建水利工程影响，2019 年前后河道水位流量关系呈显著变化，且连带含沙量与水位(流量)关系呈显著变化。具体表现为 2019 年之前水位流量呈带状分布，水位流量关系为多条临时曲线和连时序绳套曲线。2019 年后，水位流量呈离散型分布，高水、低枯水略呈带状，水位流量关系难以建立。断面含沙量受影响条件发生变化，2019 年前泥沙来源以主流为主，2019 年后泥沙来源高水以主流为主，高水以下受上游 8.5 公里左岸支流袁水来沙影响较大。

### 2.3. 单、断沙测验方案

樟树水文站单沙测验方案为船测 200 m 固定一线垂线混合，取样测点为 0.2、0.6、0.8 水深；断沙测验方案为船测 11 线垂线混合，取样测点 0.2、0.6、0.8 水深；高洪备用方案为桥测水面一点法或岸边取样。

全年单沙、断沙测次按洪水过程布测，较大洪水过程单沙不少于 14 次，断沙不少于 3 次，单沙测次分布均匀且涨水面比退水面密，断沙涨、退水面及沙峰附近各不少于 1 次。

断沙全年测次不少于 15 次，其中汛前不少于 1 次，汛后不少于 1 次。全年断沙测次应在单断沙关系线上均匀分布，高沙延长幅度应小于 20%，含沙量小于 0.05 kg/m<sup>3</sup> 测次不少于 2 次。水样处理方法为过滤法，沉淀时间应不少于 48 小时，含沙量小于 0.005 kg/m<sup>3</sup> 时，应将水样进行不跨年月合并处理分析。

## 3. 单断沙关系分析

樟树水文站 2019~2023 年间单断沙关系线及综合线节点见表 1。

各年度单断沙比例系数分别为：2019 年 0.935、2020 年 0.900、2021 年 0.922、2022 年 0.905、2023 年 0.975、2024 年 0.927、综合线 0.933。

表 1. 樟树水文站 2019~2024 年间单断沙关系线及综合线节点表(含沙量单位: kg/m³)

| 2019 年 |       | 2020 年 |       | 2021 年 |       | 2022 年 |       | 2023 年 |        | 2024 年 |       | 综合线   |       |
|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|
| 单沙     | 断沙    | 单沙     | 断沙    | 单沙     | 断沙    | 单沙     | 断沙    | 单沙     | 断沙     | 单沙     | 断沙    | 单沙    | 断沙    |
| 0      | 0     | 0      | 0     | 0      | 0     | 0      | 0     | 0      | 0      | 0      | 0     | 0     | 0     |
| 0.100  | 0.097 | 0.500  | 0.450 | 0.010  | 0.010 | 0.020  | 0.021 | 0.020  | 0.0185 | 0.020  | 0.020 | 0.600 | 0.560 |
| 0.600  | 0.561 |        |       | 0.460  | 0.424 | 0.620  | 0.561 | 0.400  | 0.390  | 0.490  | 0.454 |       |       |

从上述节点表可以看出，樟树水文站单断沙关系线较为稳定，大断面冲淤程度对单断沙关系稳定性变化程度不明显。

4. 单沙垂线代表性分析

4.1. 资料选用

本次分析采用 2022~2023 年 2 年 29 次实测悬移质输沙率测验资料，实测最低断沙 0.002 kg/m³ (2022 年 12 月 2 日)，最高断沙 0.515 kg/m³ (2022 年 6 月 16 日)，从 2000 年开始有泥沙分析资料以来，占历年含沙量变幅 (0.520 kg/m³) 的 98.7%，资料可靠，精度高。选用的资料中，主泓较稳定，沙量来源无明显变化。

4.2. 垂线分析

樟树水文站悬移质泥沙除每次在 200 ± 10 m 处布设有取样垂线外，其他垂线位置均不固定，垂线起点距最小为 38.1 m (2023 年第 12 次)，最大为 452 m (2022 年第 7 次)；相邻垂线间最小间距为 8 m (2023 年第 13 次 5 号与 6 号垂线间距)，最大间距为 112 m (2022 年第 5 次 8 号与 9 号垂线间距)；200 ± 10 m 垂线位置相对固定，且位于河道中泓位置，基本上能代表断面含沙量情况。樟树站历年采用断面平均含沙量与测验始末 2 次 200 m 处垂线平均含沙量均值建立单断沙关系。从单断沙关系分析结果可知，樟树站近 6 年单断沙关系均为直线或折线，线型关系稳定。除 200 m 外，对断面平均含沙量值在相应测次断面上的垂线分布进行分析，详见表 2。

表 2. 断面平均含沙量在断面上的分布范围

| 序号     | 断面平均含沙量(kg/m³) | 分布区间(小于 200 m) |         | 分布区间(大于 200 m) |         |
|--------|----------------|----------------|---------|----------------|---------|
|        |                | 起点距起(m)        | 起点距止(m) | 起点距起(m)        | 起点距止(m) |
| 202201 | 0.012          |                |         | 360            | 456     |
| 202202 | 0.012          | 143            | 163     | 328            | 462     |
| 202203 | 0.006          | 100            | 199     | 311            | 394     |
| 202204 | 0.116          | 117            | 157     | 245            | 395     |
| 202205 | 0.039          | 116            | 179     | 267            | 395     |
| 202206 | 0.082          | 20.1           | 94.1    | 350            | 361     |
| 202207 | 0.043          | 138            | 158     | 330            | 372     |
| 202208 | 0.155          | 147            | 201     | 369            | 419     |
| 202209 | 0.255          | 159            | 206     | 378            | 420     |
| 202210 | 0.515          | 65.2           | 154     | 340            | 385     |
| 202211 | 0.294          | 162            | 209     | 319            | 391     |
| 202212 | 0.007          | 132            | 200     | 243            | 288     |

续表

|        |       |      |     |     |     |
|--------|-------|------|-----|-----|-----|
| 202213 | 0.005 | 23.7 | 205 | 205 | 488 |
| 202214 | 0.002 | 23.2 | 192 | 241 | 498 |
| 202215 | 0.002 | 23.4 | 205 | 205 | 491 |
| 202301 | 0.01  | 120  | 207 | 261 | 484 |
| 202302 | 0.168 | 139  | 193 | 387 | 523 |
| 202303 | 0.04  |      |     | 388 | 486 |
| 202304 | 0.054 | 93.8 | 208 | 320 | 389 |
| 202305 | 0.05  | 165  | 200 | 418 | 504 |
| 202306 | 0.045 | 178  | 200 | 330 | 422 |
| 202307 | 0.015 | 23.1 | 103 | 202 | 408 |
| 202308 | 0.007 | 170  | 193 | 193 | 267 |
| 202309 | 0.062 |      |     | 387 | 508 |
| 202310 | 0.008 | 48.5 | 204 | 365 | 491 |
| 202311 | 0.012 | 73.2 | 130 | 203 | 491 |
| 202312 | 0.022 | 23   | 210 | 210 | 392 |
| 202313 | 0.014 | 86.1 | 160 | 293 | 366 |
| 202314 | 0.011 | 153  | 205 | 298 | 487 |

从表 2 可以看出断面平均含沙量值以  $200 \pm 10 \text{ m}$  为分界，从右岸至 200 m 处有 3 测次未出现断面平均含沙量值，占比 10.3%；200 m 至左岸均出现了断面平均含沙量值。根据断面平均含沙量值在断面的分布情况，用直线内插法确定断面平均含沙量值对应垂线起点距，如表 3 所示。

表 3. 断面平均含沙量值对应垂线起点距表

| 序号     | 断面平均含沙量( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) | 等于断面平均含沙量值的起点距(m) |     |          |     |
|--------|-----------------------------------|-------------------|-----|----------|-----|
|        |                                   | 小于 200 m          |     | 大于 200 m |     |
| 202201 | 0.012                             |                   |     |          | 371 |
| 202202 | 0.012                             |                   | 163 |          | 361 |
| 202203 | 0.006                             | 100               | 160 | 311      | 380 |
| 202204 | 0.116                             |                   | 133 |          | 321 |
| 202205 | 0.039                             | 137               | 150 | 283      |     |
| 202206 | 0.082                             | 71.2              |     |          | 358 |
| 202207 | 0.043                             |                   | 144 |          | 354 |
| 202208 | 0.155                             |                   | 154 |          | 378 |
| 202209 | 0.255                             | 62.1              |     |          | 394 |
| 202210 | 0.515                             | 100               |     |          | 363 |
| 202211 | 0.294                             |                   | 168 |          | 373 |
| 202212 | 0.007                             | 154               | 184 | 258      |     |

续表

|        |       |               |          |         |         |
|--------|-------|---------------|----------|---------|---------|
| 202213 | 0.005 | 98.3          | 135      | 256     | 361     |
| 202214 | 0.002 | 68.6~97.7     | 159      | 293~409 |         |
| 202215 | 0.002 | 72.5~102      | 179~189  | 211~405 |         |
| 202301 | 0.01  | 158           | 187      | 298     | 324     |
| 202302 | 0.168 |               | 165      |         | 389     |
| 202303 | 0.04  |               |          | 230     | 403     |
| 202304 | 0.054 | 107, 146, 179 |          |         | 354     |
| 202305 | 0.05  |               | 189      |         | 423     |
| 202306 | 0.045 |               |          |         | 391     |
| 202307 | 0.015 | 78.9          | 92.8     | 241~314 |         |
| 202308 | 0.007 | 95.7          |          | 252     |         |
| 202309 | 0.062 |               |          | 211     | 441     |
| 202310 | 0.008 | 62.4~97.0     | 177      |         | 430     |
| 202311 | 0.012 |               | 102      | 211~238 | 360~428 |
| 202312 | 0.022 | 36.8          | 54.8~157 | 237     | 363     |
| 202313 | 0.014 | 116           | 156      |         | 324     |
| 202314 | 0.011 |               | 179      |         | 373     |

断面平均含沙量与各垂线含沙量对照图

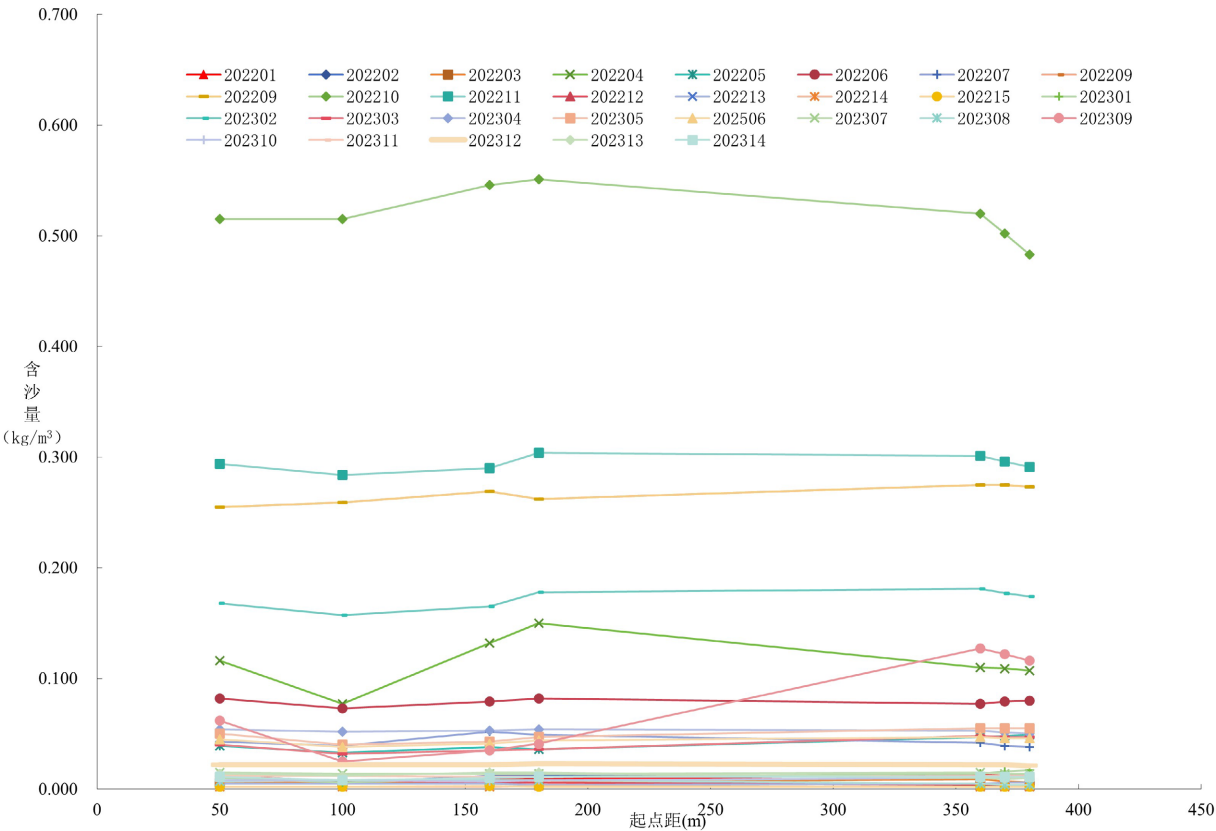


图 1. 断面平均含沙量与各垂线含沙量对照图

从表 3 可以看出与断面平均含沙量值相同的垂线大致可以分为  $100 \pm 10 \text{ m}$  (11 次)、 $160 \pm 10 \text{ m}$  (11 次)、 $180 \pm 10 \text{ m}$  (7 次)、 $360 \pm 10 \text{ m}$  (10 次)、 $370 \pm 10 \text{ m}$  (12 次)、 $380 \pm 10 \text{ m}$  (9 次)。插补出该六条所有垂线平均含沙量如图 1 所示。

分别绘制各垂线平均含沙量(x)与断面平均含沙量(y)关系曲线，6 条垂线平均含沙量与断面平均含沙量关系系数  $R^2$  在 0.9867~0.9959 之间，且越靠近 200 m 垂线  $R^2$  越接近 1。剔除 2023 年第 9 测次后的相关关系见表 4。

表 4. 各垂线平均含沙量(x)与断面平均含沙量(y)相关关系

| 序号 | 起点距(m) | 相关关系          | $R^2$  |
|----|--------|---------------|--------|
| 1  | 100    | $y = 0.9768x$ | 0.9945 |
| 2  | 160    | $y = 1.0383x$ | 0.9977 |
| 3  | 180    | $y = 1.0591x$ | 0.9974 |
| 4  | 360    | $y = 1.0260x$ | 0.9982 |
| 5  | 370    | $y = 1.0015x$ | 0.9972 |
| 6  | 380    | $y = 0.9749x$ | 0.9956 |

从表 4 可以看出，剔除突出点后，6 条垂线平均含沙量与断面平均含沙量关系系数  $R^2$  在 0.9945~0.9982 之间，相关关系较好，其中 360 m 垂线含沙量与断面平均含沙量关系系数 0.9982，为最高，垂线含沙量与断面平均含沙量比例系数 1.0260，符合《河流悬移质泥沙测验规范》(GB/T 50159-2015)中单断沙关系线比例系数“二、三类站在 0.93~1.07 之间”的要求[4]。另外，垂线 370 m 垂线含沙量与断面平均含沙量关系系数 0.9972，垂线含沙量与断面平均含沙量比例系数 1.0015 最接近 1。

## 5. 结论和建议

### 5.1. 结论

通过上述分析，樟树水文站 2022 年~2023 年 29 次资料证明，樟树水文站悬移质泥沙测验垂线布设较为合理，200 m 处单断沙关系最佳。

其次，剔除 2023 年第 9 次突出点后，从单断沙比例系数看，370 m 处最为接近 1，单沙近似等于断沙；从单断沙相关关系系数看，360 m 处相关关系，为 0.9982，最接近 1，线型关系最好。

### 5.2. 建议

樟树水文站基本水尺断面兼流速仪测流断面起点距 200 m 处位于赣江航道主航道内，航道内船只往来频繁，对在线监测设备运行干扰严重，设备安全难以保障。而 360 m 处偏离主航道约 70 m，距离左岸沙洲约 120 m，受航道和岸边影响较小，建议将泥沙在线监测设备安装于 360 m 处。

## 参考文献

- [1] 王伟. 水文测站相应单沙取样位置代表性分析[J]. 吉林水利, 2014(10): 24-26.
- [2] 吴思东. 东江中下游蓝塘水文站单样含沙量测验的取样垂线代表性分析[J]. 广东水利水电, 2014(1): 38-40, 44.
- [3] 李金宝, 刘睿, 刘玉平, 等. 八里桥水文站单样含沙量的取样位置分析[J]. 现代农业科技, 2015(13): 248-249.
- [4] GB/T 50159-2015, 河流悬移质泥沙测验规范[S]. 北京: 国家市场监督管理总局, 2015.